

### REMARKS

Claims 1-5 and 10 are pending in the present application. Claims 1-5 and 10 were amended in this response. No new matter has been introduced as a result of the amendments. Favorable reconsideration is respectfully requested.

The disclosure was objected to by the Examiner, stating that the equation of page 4 of the specification, as well as claim 5, is not fully readable/discernable. In light of the present amendments to the specification and claims, Applicant submits that a more readable version of the equation is provided. Applicant also attaches to this response a copy of the priority document (DE 103 02 142), which contains a cleaner version of the equation (see pages 3 and 4) for the Examiner's convenience. Withdrawal of the objection is earnestly requested.

In light of the present amendments, Applicant respectfully submit that claims 1-5 and 10 are allowable. Applicants respectfully submit that the patent application is in condition for allowance and request a Notice of Allowance be issued. The Commissioner is authorized to charge and credit Deposit Account No. 02-1818 for any additional fees associated with the submission of this Response. Please reference docket number 112740-912.

Respectfully submitted,

BELL, BOYD & LLOYD LLC

BY 

Peter Zura  
Reg. No. 48,196  
Customer No. 29177  
Phone: (312) 807-4208

Dated: January 22, 2007



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 02 142 A1 2004.08.12

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 02 142.6  
(22) Anmeldetag: 21.01.2003  
(43) Offenlegungstag: 12.08.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: H04B 10/06  
H04J 14/00

(71) Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

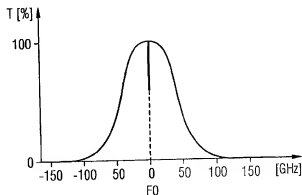
(72) Erfinder:  
Rohde, Harald, Dr., 81541 München, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Bandpassfilter und Verfahren zur Steigerung der Empfindlichkeit beim Empfang eines optischen Signals**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Bandpassfilter für ein optisches Datensignal beschrieben, dessen Transmissionskurve einen Durchlassbereich bei einer Mittenfrequenz für eine Bandbreite aufweist. Die Transmissionskurve weist einen Dämpfungsbereich auf, der die Mittenfrequenz umfasst. Dies ermöglicht eine effektive Steigerung der Empfindlichkeit eines optischen Empfangs insbesondere bei hohen Datenraten. Bei Verwendung mehrerer Bandpassfilter mit spektral nebengeordneten Durchlassbereichen eignet sich eine solche Filteranordnung für ein WDM-Signal sehr gut.



## Beschreibung

[0001] Bandpassfilter und Verfahren zur Steigerung der Empfindlichkeit beim Empfang eines optischen Signals. Die Erfindung betrifft ein Bandpassfilter nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und ein Verfahren zur Steigerung der Empfindlichkeit beim Empfang eines optischen Signals nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 10.

[0002] Die Übertragungskapazität von optischen wellenlängenmultiplexierten Kanälen in einem WDM-Übertragungssystem lässt sich steigern, indem der Frequenzabstand zwischen den einzelnen optischen Kanälen verringert wird. Mit fortlaufender Verringerung des Frequenzabstandes bei gleichzeitiger Erhöhung einer Kanaldatenrate steigt die spektrale Effizienz des Übertragungssystems. Gleichzeitig steigen auch die Anforderungen an die optischen Filter, welche die einzelnen optischen Kanäle voneinander trennen. Einerseits müssen sie das Nutzsignal möglichst ungehindert passieren lassen, andererseits sollen Störungen durch die Nachbarkanäle möglichst gut unterdrückt werden.

[0003] Ein derart selektierter optischer Kanal trifft auf einen Empfänger, der das amplitudenmodulierte Licht in eine Folge von elektrischen Pulsen wandelt. Ein solcher Empfänger ist in der Praxis nicht ideal, d.h. die Bandbreite der elektronischen Verarbeitung ist begrenzt. Der am Empfänger vorgesehene Entscheider benötigt eine gewisse Zeit, um zwischen einer logischen Eins und einer logischen Null der Pulse zu unterscheiden, weshalb die Zeitbasis des Empfängers, die auf den Takt des empfangenen Signals synchronisiert ist, einen gewissen Jitter aufweist. Somit werden hochbitratige Daten des empfangenen Signals nicht korrekt abgelesen.

## Aufgabenstellung

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Bandpassfilter anzugeben, das eine optimale spektrale Effizienz in hochbitratigen optischen Übertragungssystemen, vorzugsweise im Hinblick auf einen optischen Empfang, aufweist.

[0005] Insbesondere sollte sich das Bandpassfilter für eine Filterung eines oder mehrerer Kanäle eines WDM- oder DWDM-Signals eignen.

[0006] Eine Lösung der Aufgabe ergibt sich hinsichtlich ihres Vorrichtungaspekts durch ein Bandpassfilter mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie durch eine Filteranordnung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 8 und hinsichtlich ihres Verfahrensaspekts durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10.

[0007] Ausgehend von einem Bandpassfilter für ein optisches Datensignal, dessen Transmissionskurve einen Durchlassbereich bei einer Mittenfrequenz für eine Bandbreite  $\Delta f$  aufweist, weist die Transmissionskurve einen Dämpfungsbereich auf, der die Mittenfrequenz umfasst. Erfindungsgemäß verbessert die Dämpfung den Durchlass von Frequenzen in einem gewünschten Frequenzabstand von der Mittenfrequenz. Dafür ist der Dämpfungsbereich im Bereich der Mittenfrequenz schmalbandig bzw. als Transmissionseinbruch mit steilen Kanten zu definieren.

[0008] Eine günstige Einstellung zeigt, dass der Durchlass von Frequenzen in einem Frequenzabstand von der Mittenfrequenz, der etwa das ein- bis zweifache der Datenrate entspricht, um bis zu 30% gegenüber dem Durchlass nahe der Mittenfrequenz erhöht ist.

[0009] Optimale Filterparameter des erfindungsgemäßen Bandpassfilters ergeben sich im Falle einer Übertragung eines WDM-Signals mit wenigstens einem Kanal als Funktion der Kanaldatenrate, des Kanalabstands bzw. der Kanalabständen (bei nicht-äquidistanten Kanälen) und der Breite des Entscheiderfensters eines nachgeschalteten optischen Empfängers, d. h. der Zeitspanne, welche die Entschneiderhaltung benötigt, um zwischen einer logischen Eins und einer logischen Null eines Datensignals zu unterscheiden.

[0010] Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist darin zu sehen, dass bei Nebenanordnung von mehreren Bandpassfiltern, d. h. deren Durchlassbereiche spektral nebengeordnet sind, Filteranordnungen realisierbar sind, die breitbandige Datensignale mit unterschiedlichen Wellenlängen effizient filtern können. Solche Filter sind derzeit als „interleaver“ bekannt und können beispielsweise mit einer Nebenanordnung von bekannten Bragg-Filtern realisiert werden.

[0011] In vorteilhafter Weise können ebenfalls das erfindungsgemäße Bandpassfilter oder mehrere Bandpassfilter mit nebengeordneten Mittenfrequenzen als Reflektor verwendet werden.

[0012] Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass der Einsatz des Bandpassfilters ein effektives Verfahren zur effektiven Steigerung der Empfindlichkeit eines optischen Empfängers eines Datensignals mit einer optischen Trägerfrequenz ermöglicht. Insbesondere bei einem breiten Entscheidungsfenster des optischen Empfängers ist die Steigerung der Empfindlichkeit sehr effektiv.

[0013] Die Erfindung eignet sich selbstverständlich auch für niederbitratige Datensignale wie bei elektrischen Signalen, wobei das Bandpassfilter z. B. als elektronische Einheit ausgebildet sein sollte. Daraus folgt, dass das erfindungsgemäße Bandpassfilter für beliebige Bitraten realisiert werden kann.

[0014] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

## Ausführungsbeispiel

[0015] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert.

[0016] Dabei zeigen:

[0017] **Fig. 1:** eine erste Transmissionskurve des erfindungsgemäßen Bandpassfilters,

[0018] **Fig. 2:** eine zweite Transmissionskurve des erfindungsgemäßen Bandpassfilters,

[0019] **Fig. 3:** eine dritte Transmissionskurve des erfindungsgemäßen Bandpassfilters,

[0020] **Fig. 4:** das Frequenzspektrum für eine Filteranordnung mit mehreren erfindungsgemäßen Bandpassfiltern.

[0021] In **Fig. 1** ist eine erste Transmissionskurve  $T$  des erfindungsgemäßen Bandpassfilters mit einem Durchlassbereich  $\Delta f$  um eine Mittenfrequenz  $F_0$  dargestellt, die einer Trägerfrequenz  $F_1$  eines zu filternden Datensignals entspricht. Zweckmäßigerweise ist hier die Mittenfrequenz  $F_0$  bei 0 Hz bezeichnet, gehört in der Praxis jedoch dem optischen bzw. Hochfrequenz-Bereich. Die Transmissionskurve  $T$  weist einen Dämpfungsbereich aufweist, der wesentlich bei der Mittenfrequenz  $F_0$  auftritt. Im vorliegenden Beispiel ist der Dämpfungsbereich schmalbandig und steil ausgebildet. Theoretisch kann der Dämpfungsbereich mit einer Impulsförmigen Funktion beschrieben werden, sollte jedoch keine störenden Phasensprünge im dem optischen gefilterten Datensignal verursachen. Allenfalls könnte eine lineare Phasenverschiebung des gefilterten Datensignals gestattet werden. Zur Realisierung des erfindungsgemäßen Bandpassfilters kann unter anderem ein IIR-Filter hoher Ordnung verwendet werden.

[0022] In **Fig. 2** ist eine zweite Transmissionskurve  $T$  des erfindungsgemäßen Bandpassfilters dargestellt. Der Dämpfungsbereich ist dabei U- oder V-förmig gewählt, so dass sich zwischen zwei Durchlassmaxima bei den benachbarten Frequenzen  $F_2, F_3$  ein Durchlassminimum bei der Mittenfrequenz  $F_0$  ergibt. Das Durchlassminimum der optischen Mittenfrequenz  $F_0$  des Bandpassfilters ist hier möglichst schmalbandig gewählt und liegt etwa um 10 – 30% niedriger als ein Durchlassmaximum bei den benachbarten Frequenzen  $F_2, F_3$ . Der Empfindlichkeitsgewinn ist um so besser, je schmalbandiger diese Unterdrückung ausfällt. Ferner ist der Durchlass von Frequenzen in einen Frequenzabstand  $F_0-F_2, F_3-F_0$  von der Mittenfrequenz  $F_0$ , der etwa dem halb- bis zweifachen der Datenrate entspricht, um bis zu 30% gegenüber dem Durchlass nahe der Mittenfrequenz  $F_0$  erhöht. Weitere Einstellwerte des Durchlassbereiches bzw. des Dämpfungsbereiches können selbstverständlich gewählt werden. Bei einer Übertragung eines WDM-Signals mit mehreren Kanälen können Filterparameter von nebengeordneten Bandpassfiltern einzeln für jeden Kanal eingestellt werden.

[0023] In **Fig. 3** ist eine dritte Transmissionskurve  $T$  des erfindungsgemäßen Bandpassfilters dargestellt, die aus einer Kombination der Dämpfungsbereiche gemäß **Fig. 1** und **2** gebildet ist. Für dieses Beispiel wurde die Transmissionskurve  $T$  mit der Mittenfrequenz  $F_0$  mittels folgender normierter Transferfunktion  $H(f)$  dargestellt:

$$H(f) = c_1 * e^{-c_2 \cdot (f - f_0)^2} + \sum_{k=1}^2 c_k * e^{-c_k \cdot (f - f_0 + (-1)^k \cdot \Delta f)^2} + c_6 * \delta(f - F_0),$$

wobei  $c_1, c_2, \dots, c_6$  Einstellkoeffizienten sind und  $\delta(f)$  eine Funktion mit  $\delta(f = F_0) = 1$  und  $\delta(f \neq F_0) = 0$  bezeichnet.

[0024] Damit wird eine gute Flexibilität der Einstellwerte des Bandpassfilters erreicht. Es können selbstverständlich andere Transferfunktionen  $H(f)$  definiert werden wie z. B. für eine asymmetrische Gestaltung der Transmissionskurve  $T$  über die Bandbreite, die in besonderen Fällen mehr geeignet sein könnte als die hier dargestellte symmetrische Transmissionskurve  $T$ .

[0025] In **Fig. 4** ist eine Transmissionskurve einer Filteranordnung mit mehreren erfindungsgemäßen Bandpassfiltern dargestellt, deren Durchlassbereiche nebengeordnet sind. Unterschiedliche Filteranordnungen sind möglich insbesondere bei einem WDM- oder DWDM-Signal:

- Alle Mittenfrequenzen der Bandpassfiltern sind bei den Trägerfrequenzen der Kanäle des WDM-Signals eingestellt;
- Es werden lediglich die gerade oder die ungerade Kanäle gefiltert;
- Gezielte Kanäle werden gefiltert oder zwischen zwei oder mehreren benachbarten Bandpassfiltern reflektiert.

[0026] Damit können sehr flexible periodische oder nicht-periodische Interleaver sowie auch Add-Drop-Module realisiert werden, die im Falle eines anschließenden optischen Empfangs eine deutliche Steigerung der Empfindlichkeit bewirken.

## Patentansprüche

1. Bandpassfilter für ein optisches Datensignal, dessen Transmissionskurve ( $T$ ) einen Durchlassbereich bei einer Mittenfrequenz ( $F_0$ ) für eine Bandbreite ( $\Delta f$ ) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Transmissionskurve ( $T$ ) einen Dämpfungsbereich aufweist, der die Mittenfrequenz ( $F_0$ ) umfasst.

2. Bandpassfilter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Dämpfungsbereich im Bereich der Mittenfrequenz ( $F_0$ ) schmalbandig ist.

3. Bandpassfilter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Dämpfungsbereich vorzugsweise U- oder V-förmig ist.

4. Bandpassfilter nach den Ansprüchen 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Dämpfungsbereich eine Kombination eines U- oder V-förmigen Verlaufes außerhalb der Mittenfrequenz ( $F_0$ ) und eines schmalbandigen Verlaufes bei der Mittenfrequenz ( $F_0$ ) aufweist.

5. Bandpassfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Transmissionskurve ( $T$ ) mit der Mittenfrequenz ( $F_0$ ) mittels folgender normierter Transferfunktion  $H(f)$  darstellbar ist:

$$H(f) = c_1 * e^{-c_2 * (f - F_0)^2} + \sum_{k=1}^2 c_3 * e^{-c_4 * (f - F_0 + (-1)^k * c_5)^2} + c_6 * \delta(f - F_0),$$

wobei ( $c_1$ ,  $c_2$ , ...,  $c_6$ ) Einstellungskoeffizienten sind und  $\delta(f)$  eine Funktion mit  $\delta(f = F_0) = 1$  und  $\delta(f \neq F_0) = 0$  bezeichnet.

6. Bandpassfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es als IIR-Filter hoher Ordnung mit konstantem Phasenverlauf über der Bandbreite ( $\Delta f$ ) realisierbar ist.

7. Bandpassfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Datensignal als Kanal eines WDM-Signals vorgesehen ist.

8. Filteranordnung mit mehreren Bandpassfiltern gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, deren Durchlassbereiche spektral nebeneinander angeordnet sind.

9. Filteranordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zwischen zwei Durchlassbereichen liegende Frequenzbereich als Reflektor für dort auftretende Kanalsignale wirksam ist.

10. Verfahren zur Steigerung der Empfindlichkeit eines Empfangs eines optischen Datensignals mit einer optischen Trägerfrequenz ( $F_1$ ), dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens das Datensignal vor dem optischen Empfang ein Bandpassfilter gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche passiert, dessen Mittenfrequenz ( $F_0$ ) bei der Trägerfrequenz ( $F_1$ ) liegt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG 1

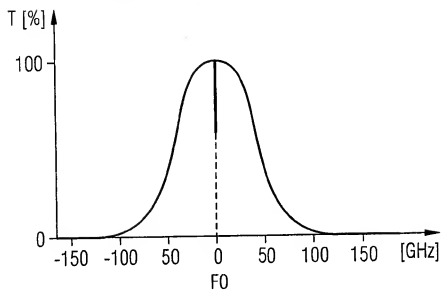


FIG 2

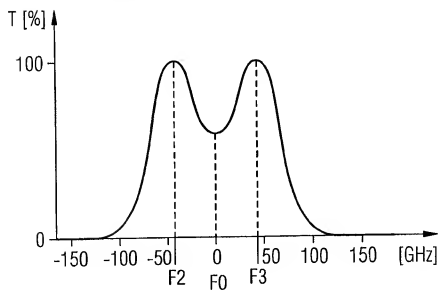


FIG 3

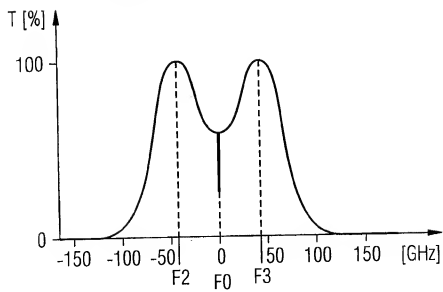


FIG 4

